



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

Rec'd PCT/PTO

PCT/IB 03 / 01300  
08 OCT 2004 04.03

REC'D 10 1 MAY 2003

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02079545.6

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk

DEN HAAG, DEN  
THE HAGUE,  
LA HAYE, LE

20/03/03



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung**  
**Sheet 2 of the certificate**  
**Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:  
Application no.:  
Demande n°: 02079545.6

Anmeldetag:  
Date of filing:  
Date de dépôt: 30/10/02

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
Koninklijke Philips Electronics N.V.  
5621 BA Eindhoven  
NETHERLANDS

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:  
NO TITLE

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State:  
Pays:

Tag:  
Date:  
Date:

Aktenzeichen:  
File no.  
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:  
International Patent classification:  
Classification internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:  
Contracting states designated at date of filing: AT/BG/BE/CH/CY/CZ/DE/DK/EE/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/  
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques:

SEE FOR ORIGINAL TITLE PAGE 1 OF THE DESCRIPTION

Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden en elektronische inrichting

EPO - DG :  
30. 10. 2002

(108)

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden, omvattende het aanbrengen van een patroonmatig etsmasker met openingen op een oppervlak van een substraat uit het halfgeleidermateriaal; het etsen van het substraat onder vorming van de nanodraden.

5 De uitvinding heeft eveneens betrekking op een dispersie van nanodraden.

De uitvinding heeft eveneens betrekking op een elektronische inrichting bevattende een halfgeleiderelement voorzien van een eerste en een tweede elektrode die onderling verbonden zijn via een halfgeleider.

10 Nanodraden zijn draden van een veelal halfgeleidend materiaal met een diameter van minder dan 100 nm. Ze worden beschouwd als bouwstenen voor verdere elektronische en optoelektronische elementen. De nanodraden hebben als voordeel dat dimensionele beperkingen tengevolge van het fotolithografisch patroneren minder relevant worden. Bovendien hebben de nanodraden andere eigenschappen dan eenheden van hetzelfde  
15 materiaal van grotere dimensies vanwege quantisatie-effecten, zoals een niet-ohmse weerstand.

Een werkwijze als omschreven in de aanhef is bekend uit Yin et al., *Adv.Mat.* 12(2000), 1426-1430. In de bekende werkwijze is een silicon-on-insulator (SOI) substraat als halfgeleidersubstraat toegepast, waarbij de siliciumlaag op de isolator een dikte  
20 van 100 nm had. Hierop werd een fotogevoelige laag aangebracht en in patroon gebracht. Het gevormde patroon omvatte lijnen met een breedte van 130 nm en een onderlinge afstand van 2 micrometer. Met behulp van reactive ion etching in een atmosfeer van O<sub>2</sub>, CHF<sub>3</sub> en SF<sub>6</sub> werd het patroon overgebracht naar het halfgeleidersubstraat met een snelheid van 80 nm/min. De resulterende lijnen van 100 nm dik werden na oxidatie van de isolator afgehaald  
25 door lift-off in een oplossing van HF. Zo werden nanodraden met een doorsnede van ongeveer 55 bij 40 nm gevormd.

Het is een nadeel van de bekende werkwijze dat het aantal nanodraden dat uit een halfgeleidersubstraat gevormd kan worden, relatief gering is, namelijk enkele duizenden. Dat aantal is met name gering in vergelijking met het aantal transistoren dat tegenwoordig in

een halfgeleidersubstraat gedefinieerd wordt en dat nodig is om een enkele geïntegreerde schakeling te laten werken. Met andere woorden: om een geïntegreerde schakeling met nanodraden op industriële schaal te realiseren is het nodig om nanodraden te vervaardigen in veel grotere aantallen dan met de bekende werkwijze mogelijk is.

- 5                   Het is zodoende een eerste doel van de uitvinding om een werkwijze van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen, waarbij een groot aantal, bijvoorbeeld meer dan  $10^6$ , nanodraden gevormd kunnen worden uit een substraat van halfgeleidermateriaal.

Het is een tweede doel van de uitvinding om een dispersie te verschaffen van de met de werkwijze verkrijgbare nanodraden.

- 10                   Het is een derde doel van de uitvinding om een elektronische inrichting van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen waarin de met de werkwijze gevormde nanodraden gebruikt kunnen worden.

Het eerste doel is daardoor bereikt dat de werkwijze de stappen omvat van:

- 15                   - het etsmasker openingen bevat, die een in hoofdzaak gelijke steek (pitch) bezitten;  
- het anodisch etsen onder vorming van in hoofdzaak evenwijdige poriën met een steek overeenkomend met de steek van de openingen in het etsmasker bij een zodanige stroomdichtheid dat de diameter van de poriën ten minste even groot wordt als de steek van de poriën onder vorming van de nanodraden; en  
- het verwijderen van de nanodraden van het substraat.

- 20                   Waar in de stand van de techniek de nanodraden parallel aan het oppervlak gevormd worden en gedefinieerd worden door het etsmasker, ontstaan de nanodraden in de werkwijze volgens de uitvinding in een richting transversaal op het oppervlak. Door de transversale in plaats van laterale etsrichting kan een zeer grote hoeveelheid nanodraden vervaardigd worden op een eenheid van oppervlak. In typerende experimenten werden  $2 \cdot 10^9$   
25 nanodraden gevormd op een substraat met een diameter van 150 mm. De nanodraden kunnen onder meer met trillen, snijden en druk van de onderlaag verwijderd worden. Bij voorkeur wordt ultrasoon trillen gebruikt.

- 30                   Het is een eerste voordeel van de werkwijze volgens uitvinding dat op een zeer eenvoudige manier een zeer grote hoeveelheid nanodraden verkregen wordt, welke draden allemaal ongeveer eenzelfde lengte hebben. In de bekende werkwijze is de lengte afhankelijk van het aangebrachte patroon, en verder enigszins afhankelijk van het wegetsen tijdens het losmaken.

Het is een tweede voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding dat een relatief goedkoop substraat toegepast kan worden, waar in de bekende werkwijze een halfgeleidersubstraat van het SOI-type nodig is.

5 Het is een derde voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding, dat niet de dimensies van de nanodraad zelf in het etsmasker gedefinieerd hoeven worden. In principe is lithografie waarbij openingen met een diameter op micrometerschaal gedefinieerd worden voldoende. In het anodisch etsen groeien de poriën het substraat in, waarbij ze langzamerhand wijder worden. Wanneer de diameters van de poriën elkaar gaan overlappen, blijven de nanodraden over tussen de poriën. Er zijn dus geen buitengewoon geavanceerde  
10 fotolithografische technieken nodig voor de definitie van de draden in het etsmasker.

Het is een vierde voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding kunnen de nanodraden gevormd worden in een eenvoudig proces, dat ook op industriële schaal uitgevoerd kan worden en waarbij de nanodraden naar wens geoptimaliseerd kunnen worden. De lengte van de draden kan ingesteld worden met behulp van de etstijd. De eigenschappen  
15 van de draden kunnen ingesteld worden met de materiaalkeuze en met de dotering van het halfgeleidersubstraat.

Het gebruik van anodisch etsen is bekend voor de vervaardiging van poriën met een onderlinge afstand van enkele micrometers. Gevonden is dat nanodraden gevormd worden in plaats van een hoeveelheid poriën door het aanbrengen van een stroomdichtheid  
20 die kleiner is dan een zogenoemde piekstroomdichtheid  $i_{ps}$ , maar groter is dan pakweg de helft daarvan. Deze piekstroomdichtheid  $i_{ps}$  is een maximum in de stroomdichtheid dat optreedt bij een bepaalde potentiaal, de piekpotentiaal. Wanneer de stroomdichtheid gelijk of groter is dan  $i_{ps}$ , wordt het substraat van halfgeleidermateriaal op uniforme wijze geëtsd. Wanneer de stroomdichtheid te laag is ingesteld, worden de poriën onvoldoende wijd, zodat  
25 er geen losse draden gevormd worden. De definitie van de piekstroomdichtheid is bekend uit J.E.A.M. van den Meerakker et al., *Journal of the Electrochemical Society* 147(2000), 2757-2761, waarvan de inhoud door referentie hierin wordt opgenomen. Bij voorkeur wordt de stroomdichtheid ingesteld op een waarde tussen 0,9 en 1,0 maal de piekstroomdichtheid  $i_{ps}$ . Voor het geval van een substraat van Si zijn hiermee goede resultaten behaald.

30 De specifieke instelling van de stroomdichtheid is afhankelijk van een aantal variabelen. Uit de genoemde definitie blijkt dat de piekstroomdichtheid  $i_{ps}$  evenredig is met de concentratie van het waterstoffluoride [HF] en evenredig met  $\exp\{-c/T\}$ , waarin c een constante is. Verder is de stroomdichtheid afhankelijk van de aangelegde potentiaal. De specifieke instelling kan dus bereikt worden zowel door potentiostatisch te werken en de HF-

concentratie en/of de temperatuur aan te passen, als door galvanostatisch te werken en de potentiaal in te stellen. Voorts geldt dat de ligging van de piekpotentiaal afhankelijk is van een aantal andere factoren, zoals de in het halfgeleidersubstraat aangebrachte dotering; de afstand tussen naburige inkepingen; het materiaal van het halfgeleidersubstraat en de concentratie aan surfactants in het etsbad.

Bij voorkeur het anodisch etsen plaats heeft in een richting substantieel loodrecht op het oppervlak van het substraat. Op deze wijze is de afstand beperkt tussen het oppervlak van het substraat en de anode. Deze anode bevindt zich aan een tweede oppervlak, dat van het eerste oppervlak afgekeerd is, of is daarmee in elektrisch geleidende verbinding.

10 Bij verdere voorkeur wordt na het aanbrengen van het etsmasker en voor het anodisch etsen een vooretsbehandeling uitgevoerd onder vorming van gespitste inkepingen aan het oppervlak van het substraat. Bij gebruik van een substraat van Si wordt voor het vooretsen bij voorkeur een sterk alkalische oplossing gebruikt, zoals oplossingen van KOH, NaOH en tetramethylammoniumhydroxide (TMAH). Het is echter eveneens mogelijk om  
15 anderszins gespitste inkepingen aan te brengen. Bijvoorbeeld kan het patroon gedefinieerd worden met behulp van soft-lithografische technieken, zoals microcontactprinting. Daarna of tegelijkertijd kunnen inkepingen aangebracht wordt, hetzij op chemische wijze met een geschikt etsmiddel, hetzij op mechanische wijze. Door het aanbrengen van gespitste inkepingen wordt voorkomen dat dislocaties en andere fouten het groeien van de porie  
20 kunnen beïnvloeden. De spits van de inkeping zorgt ervoor dat het groeien van de porie goed gecontroleerd kan worden.

In een verdere uitvoeringsvorm is de afstand tussen twee naburige inkepingen kleiner dan 10 micrometer. Met experimenten volgens deze uitvoeringsvorm zijn goede resultaten behaald. Bij grotere afstanden bestaat de kans, dat het substraat niet volgens het  
25 gewenste patroon wordt weggeëtsd, maar over het gehele oppervlak wordt verwijderd. Dit is dan het gevolg, wanneer niet alleen de spitsvormige inkepingen als bronnen voor het etsen optreden, maar ook op andere plekken in het substraat van halfgeleidermateriaal een stroom gaat lopen. De afstand is echter eveneens afhankelijk van de mate van dotering, en daarmee het geleidingsvermogen van het substraat.

30 Het materiaal van het halfgeleidersubstraat kan onder meer GaAs, Si, InP, of een andere III-V of II-VI type halfgeleider zijn. In het geval van Si kan de dotering zowel n-type als p-type zijn. In het geval van een n-type dotering vindt belichting plaats in het bijzonder op het tweede oppervlak, dat van het oppervlak met het etsmasker is afgekeerd. Dit is niet nodig wanneer aan dit tweede oppervlak een onderlaag van een p-type aanwezig is.

Wanneer Si gebruikt wordt, heeft het de voorkeur dat het oppervlak zich aan het (100)-kristalvlak bevindt. Het is dan mogelijk om met vooretsen piramidale inkepingen te vervaardigen. De vervaardiging van deze inkepingen heeft bijvoorbeeld plaats met een etsoplossing van KOH. De piramidale vorm ontstaat aangezien het etsen in de (111)-richting nagenoeg niet plaats heeft.

Het tweede doel van de uitvinding is bereikt in een dispersie van de nanodraden verkrijgbaar met de werkwijze volgens de uitvinding in een disperseermiddel. Het disperseermiddel is bijvoorbeeld ethanol. Bij voorkeur is het disperseermiddel een vluchtige verbinding, die bij opbrengen van de dispersie op een substraat eenvoudig verdampt kan worden.

Het derde doel van de uitvinding om een elektronische inrichting van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen is daardoor bereikt dat de volgens één van de Conclusies 1-6 verkregen nanodraden aanwezig zijn als halfgeleider.

Deze en andere aspecten van de werkwijze volgens de uitvinding zullen nader worden toegelicht aan de hand van figuren, waarin:

Fig. 1 een schematische weergave van een opstelling toont, waarmee de werkwijze kan worden uitgevoerd;

Fig. 2 in detail een schematische weergave toont van een halfgeleidersubstraat waarop de werkwijze wordt toegepast;

Fig. 3 een schematisch bovenaanzicht van de poriën met de nanodraden toont;

Fig. 4 de met de werkwijze gevormde nanodraden toont; en

Fig. 5 een schematische doorsnede van een elektronische inrichting volgens de uitvinding toont.

Gelijke verwijzingscijfers in de figuren duiden gelijke onderdelen aan. De tekeningen zijn niet op schaal en tonen slechts uitvoeringsvoorbeelden. Zoals de vakman duidelijk zal zijn, zijn alternatieve uitvoeringsvoorbeelden binnen de beschermingsomvang van de conclusies denkbaar.

#### Uitvoeringsvoorbeeld 1

Figuur 1 toont een schematische weergave van een opstelling 20 voor het uitvoeren van de werkwijze volgens de uitvinding. De opstelling 20 bevat een etsbad 25,

waarin een kathode 21 en een anode 22 aanwezig zijn, die middels stroombron 26 onderling verbonden zijn. De kathode 21 is een plaat van Pt, met in dit voorbeeld een oppervlak van  $196 \text{ cm}^2$ . De anode 22 is in dit voorbeeld uitgevoerd als een gaas van Pt, om de reden dat dit licht verstrooit en doorlaat. De opstelling bevat voorts een elektrolytische cel 24, waarin een  
5 halfgeleidersubstraat 10 geplaatst is. In het geval dat een halfgeleidersubstraat van Si met een n-type dotering gebruikt wordt is de aanwezig lichtbron 23 aangeschakeld. Bij voorkeur wordt als lichtbron 23 een wolfram-halogeenvlamp toegepast. Het etsbad 25 is een oplossing van ethanol (0-30 M), HF (1-10M) en cetyltrimethylammoniumchloride (CATC, 0-0.02M) in water. Het etsbad 25 heeft een inhoud van 7,9 liter. De oplossing wordt door een  
10 thermostaat gepompt, die de temperatuur van het bad tot op  $1^\circ\text{C}$  constant houdt. De temperatuur wordt ingesteld in het gebied tussen 0 en  $60^\circ\text{C}$ . De elektrolytische cel 24 wordt begrensd door het substraat 10, een kamer van polypropyleen en een plaat van lichtdoorlatend polycarbonaat. In de cel bevindt zich een oplossing van  $0,13 \text{ M K}_2\text{SO}_4$ . De potentiaal tussen anode 22 en kathode 21 is typisch in de orde van 30 V, de stroomdichtheid  
15 is in de orde van  $10\text{-}300 \text{ mA/cm}^2$ . De anode 22 is via de elektrische geleiding door de oplossing van  $\text{K}_2\text{SO}_4$  verbonden het substraat 10.

Figuur 2 toont in detail en op schematische wijze het substraat 10 in drie stadia van de werkwijze van de vervaardiging van nanodraden 104. Dit substraat 10 heeft een oppervlak 1 en afgekeerd daarvan en bij voorkeur substantieel parallel daaraan een tweede  
20 oppervlak 2. Aan het oppervlak 1 is een patroonmatig etsmasker aangebracht. Vanaf dit oppervlak 1 wordt het substraat 10 geëtsd. Daartoe bevindt het halfgeleidersubstraat 10 met haar oppervlak 1 in het etsbad 25 van water, ethanol, HF en surfactant cetyl-trimethylammonium-chloride (CTAC) en met haar tweede oppervlak 2 in de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ -oplossing van de elektrolytische cel 24 (etsbad en elektrolytische cel zijn niet weergegeven in Fig.2). De  
25 geleidende kaliumsulfaat-oplossing zorgt voor een elektrisch geleidende verbinding tussen de anode en het tweede oppervlak 2 van het substraat 10. Het substraat 10 is aan het oppervlak 1 p-type gedoteerd in een concentratie van ongeveer  $10^{15} \text{ atomen/cm}^3$ , overeenkomend met een specifieke weerstand van  $10\text{-}30 \Omega\cdot\text{cm}$ . Als dotering is B gebruikt. In andere experimenten zijn met hogere specifieke weerstanden tot  $1000 \Omega\cdot\text{cm}$  eveneens goede resultaten behaald. De  
30 achterzijde 2 van het halfgeleidersubstraat 10 is hoog gedoteerd met B (doteringsgraad  $10^{20} \text{ atomen/cm}^3$  of hoger). Om de geleiding van het tweede oppervlak 2 van het substraat 10 verder te verbeteren kan een geleidende laag van bijv. Al aangebracht worden.

Fig. 2A toont het substraat 10, nadat inkepingen 15 aangebracht zijn aan de voorzijde 1. De inkepingen 15 zijn gevormd vanuit de openingen in een reeds aangebracht



patroonmatig etsmasker. Dit etsmasker is als volgt vervaardigd: op het substraat 10 zijn achtereenvolgens een 140 nm dikke laag  $\text{Si}_3\text{N}_4$  en een fotogevoelige lak aangebracht. Deze lak is plaatselijk belicht via een masker waarin gaatjes met een diameter van 1,5 micrometer aanwezig zijn. De steek (pitch) 12 tussen de openingen is 3,5 micrometer. De steek wordt  
5 bepaald als de afstand tussen de harten van twee naburige openingen. Op de belichte plaatsen wordt de lak opgelost en komt het  $\text{Si}_3\text{N}_4$  bloot te liggen. Het  $\text{Si}_3\text{N}_4$  wordt geëtsd met een bij voorkeur geconcentreerde oplossing van  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Daarna is de fotolak verwijderd in een zuurstofplasma. Het halfgeleidersubstraat 10 is 8 minuten lang in een 8,8 molair KOH bad van 70 °C geplaatst. Daarbij etst het KOH bad het halfgeleidersubstraat 10 van Si weg langs  
10 de snelle (100) kristalrichting, terwijl de langzame (111) kristalrichting nagenoeg onaangetast blijft. Op deze manier zijn aan het oppervlak 1 van het halfgeleidersubstraat 10 met een diameter van 150 mm ruim een miljard piramidevormige spitsvormige inkepingen 15 gedefinieerd van substantieel identieke vorm. Het gevormde patroon is daarbij dat van een hexagonaal rooster.

15 Fig. 2B toont het substraat 10, na enige tijd anodisch etsen. Voor het etsen zijn de temperatuur, de HF-concentratie en de aangelegde potentiaal ingesteld op een zodanige wijze dat de stroomdichtheid groter is dan 90% van de piekstroomdichtheid  $i_{ps}$ . Dit is bijvoorbeeld het geval in een bad met een HF-concentratie van 3,0 M en temperatuur van 30 °C bij een stroomdichtheid van 130 mA/cm<sup>2</sup>. Gevonden is dat in een eerste fase het etsen  
20 isotroop plaatsvindt. Vervolgens gaat het etsen anisotroop verder.

Fig. 2C toont het halfgeleidersubstraat in een verder stadium. Het resultaat is dat nanodraden 104 verkregen zijn na overlap van de poriën. De lengte van de nanodraden 104 kan ingesteld worden op een gewenste lengte tussen 1 en 100 micrometer, en zelfs langer. Het instellen gebeurt door het kiezen van de etstijd. Voor nanodraden 104 met een  
25 lengte van 100 µm was bij de genoemde instellingen een etstijd van ongeveer 20 minuten nodig. De nanodraden 104 zijn verkregen met doorsneden van 50 en 80 micrometer en groter. De doorsnede kan verkleind worden door thermische oxidatie van de nanodraden 104 bij ongeveer 800 °C en het wegetsen van het ontstane  $\text{SiO}_2$  in een oplossing van HF. Een foto van de nanodraden 104, die uit het substraat 10 verkregen zijn, is getoond in Figuur 3. De  
30 foto is gemaakt met behulp van Scanning Electron Microscopy (SEM) met een Philips XL40 FEG apparaat, met acceleratiespanningen van ongeveer 30 kV. Het aantal nanodraden 104 dat op een halfgeleidersubstraat 10 verkregen wordt, bedraagt meer dan 2 miljard.

Fig. 3 toont een schematisch bovenaanzicht van de poriën met de nanodraden 104 die daartussen gevormd worden. De poriën zijn gegroeid vanuit de openingen en niet

alleen transversaal op het oppervlak van het substraat. De poriën zijn ook zodanig wijder geworden, dat ze elkaar overlappen. De nanodraden 104 blijven daarbij over. Elke porie wordt daarbij omgeven door zes nanodraden 104 en elke nanodraad 104 wordt omsloten door drie poriën. Dit leidt ertoe, dat het aantal nanodraden tweemaal zo groot is als het aantal  
 5 poriën, en dus het aantal openingen in het etsmasker.

#### Uitvoeringsvoorbeeld 2

Het experiment wordt een aantal malen herhaald. Allereerst wordt het patroon

gewijzigd. Openingen 11 worden gedefinieerd met een diameter van 1,5 micrometer en een  
 10 steek 12 van 2,5 micrometer, en met een diameter van 2 micrometer en een steek 12 van 5 micrometer. Ook wordt in plaats van een p-type substraat met een specifieke weerstand van  $10\text{--}30\ \Omega\text{ cm}$  (doteringsgraad  $10^{15}$  atomen/cm<sup>3</sup>) een n-type substraat met eenzelfde doteringsgraad toegepast. Het anodische etsproces wordt nu onder belichting met de  
 15 wolfram-halogenlamp uitgevoerd. In alle gevallen worden nanodraden verkregen. Wanneer echter de steek 12 wordt opgevoerd tot 10 micrometer bij een diameter van de geïsoleerde gebieden 11 van 2 micrometer, groeien de poriën niet ver genoeg door.

Tabel 1 toont het resultaat van een verder experiment. Dit is uitgevoerd bij constante temperatuur en HF-concentratie, waarbij de stroomdichtheid verhoogd werd. De  
 temperatuur was 22 °C. Het etsbad was een mengsel van 500 ml H<sub>2</sub>O, 320 ml ethanol  
 20 (14,9M), 160 ml HF (4,67 M) en 12,7 ml CTAC. De inkepingen hadden een diameter van 2,0 µm en bevonden zich op een onderlinge afstand van 5,0 µm. Het halfgeleidersubstraat 10 was aan de voorzijde 1 p-type gedoteerd met een doteringsgraad van ongeveer  $10^{15}$  atomen/cm<sup>3</sup>.

Tabel 1 – vorming van nanodraden als functie van de stroomdichtheid

stroomdichtheid j (mA/cm <sup>2</sup> )	resultaat
7	poriën met vertakkingen
14	poriën met kleine vertakkingen
28	poriën gescheiden door wanden
56	poriën gescheiden door wanden
70	poriën gescheiden door dunne wanden
99	draden met een doorsnede van 0,5 µm
113	nanodraden met een doorsnede van 90-100 nm

## Uitvoeringsvoorbeeld 3

Figuur 4 toont een schematische doorsnede van een halfgeleiderelement 100, hetgeen een dunnefilmtransistor is. Op een substraat 110 van polyimide zijn een source electrode 101 en een drain elektrode 102 aangebracht. De elektroden 101,102 bevatten bijvoorbeeld Au en zijn op lithografische wijze gedefinieerd. De elektroden 101,102 zijn onderling gescheiden door een kanaal 105, dat een diëlektrisch materiaal bevat met bij voorkeur een lage diëlektrische constante. Geschikte materialen zijn onder meer siliciumdioxide, hydrogen- en methylsilsesquioxane, poreus silica, SiLK, benzocyclobuteen.

De keuze van het materiaal is mede afhankelijk van de substraatkeuze. Het oppervlak 111 van de elektroden 101,102 en het kanaal 105 is geplanariseerd, zodat nanodraden 104 zich bevinden op een in wezen vlak oppervlak 111. De nanodraden 104 zijn neergelegd en uitgelijnd door een druppel van een dispersie met de nanodraden aan te brengen op het oppervlak 111, waarbij een spanning werd aangebracht. Door de aangebrachte wisselspanning van meer dan 25 V bij een frequentie van 1 kHz vond uitlijning van de nanodraden 104 plaats. Op de nanodraden 104 is een diëlektrische laag 106 aanwezig, welke de gate elektrode 103 scheidt van de nanodraden 104. Anderzins kan de uitlijning plaats hebben door een matrijs met kanalen aan te brengen op het oppervlak 111 en het geheel in een bad van de dispersie met nanodraden te plaatsen. Door met een drukverschil een stroom te induceren, worden de nanodraden in de kanalen van de matrijs gezogen. Dit leidt tot een positionering van uitgelijnde nanodraden.

Zoals de vakman duidelijk zal zijn, bevat een elektronische inrichting bij voorkeur een grote hoeveelheid aan halfgeleiderelementen 100, die volgens een gewenst patroon met elkaar verbonden zijn en een schakeling vormen. Opgemerkt is verder dat in een enkel halfgeleiderelement 100 een groot aantal nanodraden 104 aanwezig kunnen zijn en dat er voor substraat 110, elektroden 101, 102, 103 en diëlektrische lagen 105,106 verscheidene materialen gekozen kunnen worden, zoals aan de vakman op het gebied van dunnefilmtransistoren bekend is.

CONCLUSIES:

EPO - DG

30.10.2002

(108)

1. Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden uit halfgeleidermateriaal  
omvattende

- het aanbrengen van een patroonmatig etsmasker met openingen op een oppervlak van een  
substraat uit het halfgeleidermateriaal, waarbij de openingen een in hoofdzaak gelijke

5 steek (pitch)-bezitten;

- het plaatsen van het substraat met etsmasker in een vloeibaar etsmiddel voor het  
halfgeleidermateriaal

10 - het anodisch etsen onder vorming van in hoofdzaak evenwijdige poriën met een steek  
overeenkomend met de steek van de openingen in het etsmasker bij een zodanige  
stroomdichtheid dat de diameter van de poriën ten minste even groot wordt als de steek  
van de poriën onder vorming van de nanodraden; en

- het verwijderen van de nanodraden van het substraat.

15 2. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat het anodisch etsen plaats  
heeft in een richting substantieel loodrecht op het oppervlak van het substraat.

3. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat na het aanbrengen van  
het etsmasker en voor het anodisch etsen een vooretsbehandeling wordt uitgevoerd onder  
vorming van gespitse inkepingen aan het oppervlak van het substraat.

20

4. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat de steek tussen twee  
naburige openingen kleiner is dan 10 micrometer.

25 5. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat  
het halfgeleidersubstraat een substraat van Si is, waarbij het oppervlak zich bevindt aan het  
(100)-kristalvlak; en  
het etsmiddel een oplossing van waterstoffluoride is.

6. Dispersie van nanodraden die volgens één der voorgaande Conclusies verkrijgbaar zijn, in een disperseermiddel.

5 7. Elektronische inrichting bevattende een halfgeleiderelement voorzien van een eerste en een tweede elektrode die onderling verbonden zijn via een halfgeleider, met het kenmerk dat de volgens één van de Conclusies 1-6 verkregen nanodraden aanwezig zijn als halfgeleider.

## ABSTRACT:

EPO - D  
30. 10. 2002

(108)

A method of manufacturing nanowires (104) is provided, according to which method the nanowires are prepared by etching a semiconductor substrate (10) in a direction substantially perpendicular to the surface of the semiconductor substrate (10), after that a pattern of isolated domains has been provided at the semiconductor substrate (10). The

---

5 resulting nanowires (104) are fit for use in semiconductor devices.

---

Fig. 3

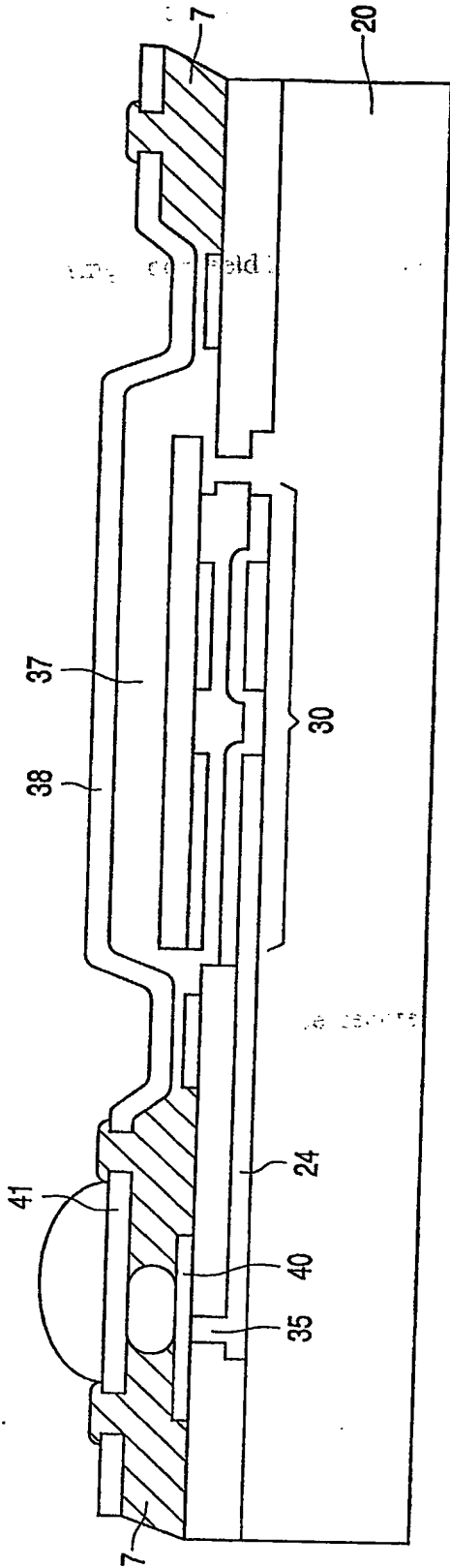


FIG. 1

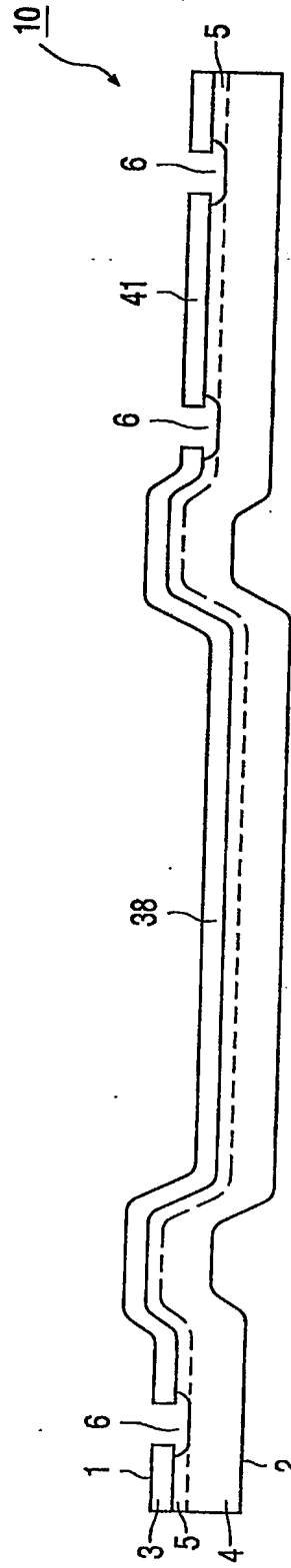


FIG. 2A

EPO - DG 1  
30.10.2002  
108

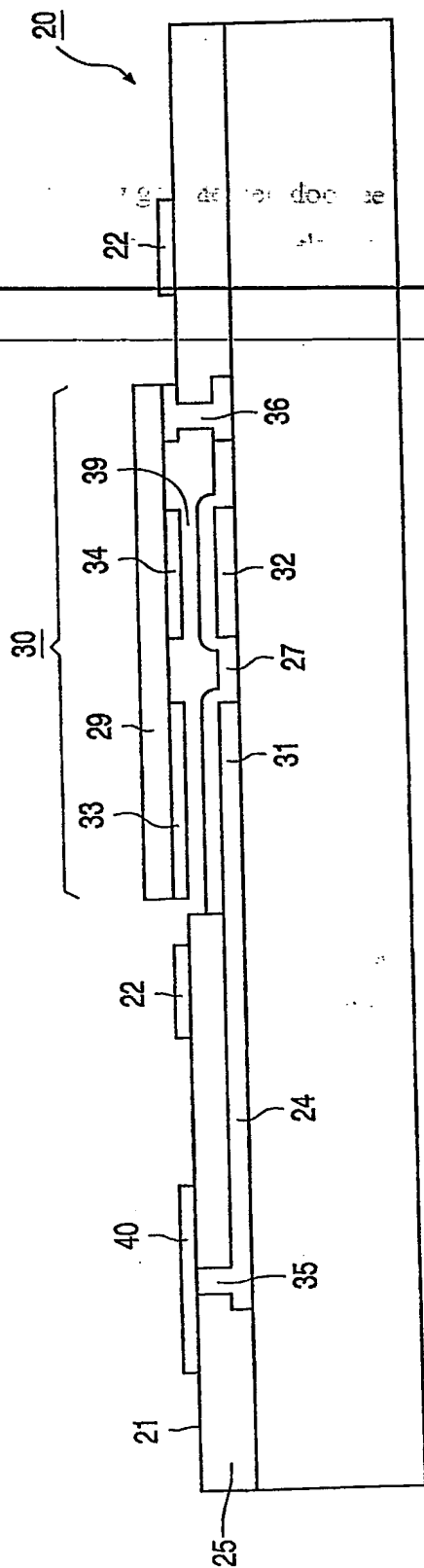


FIG. 2B

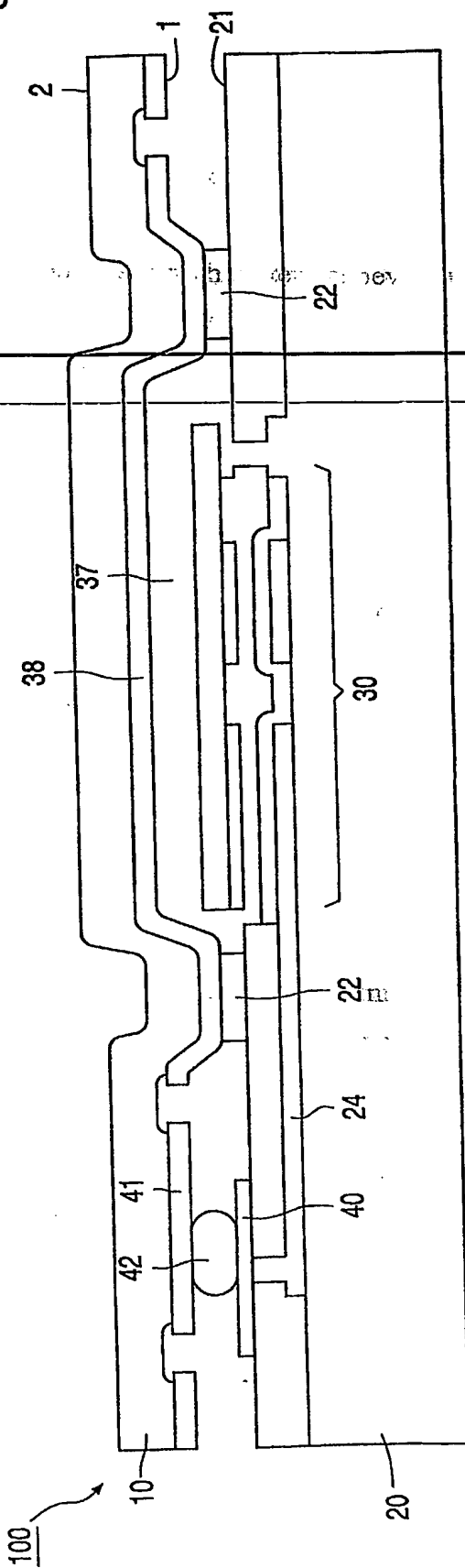


FIG. 2C



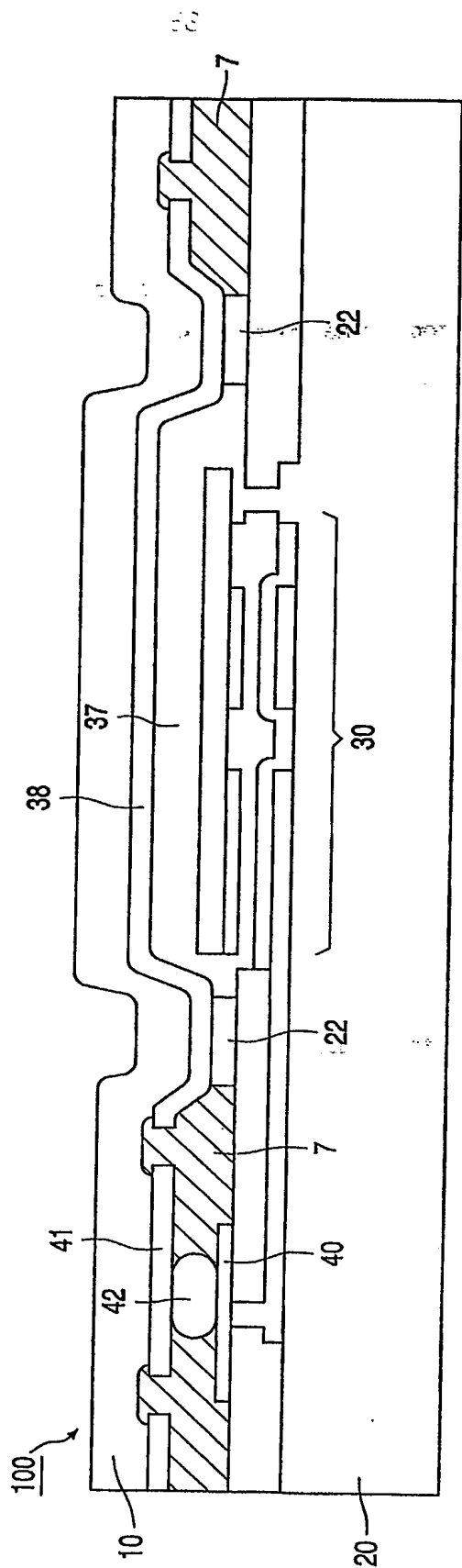


FIG. 2D

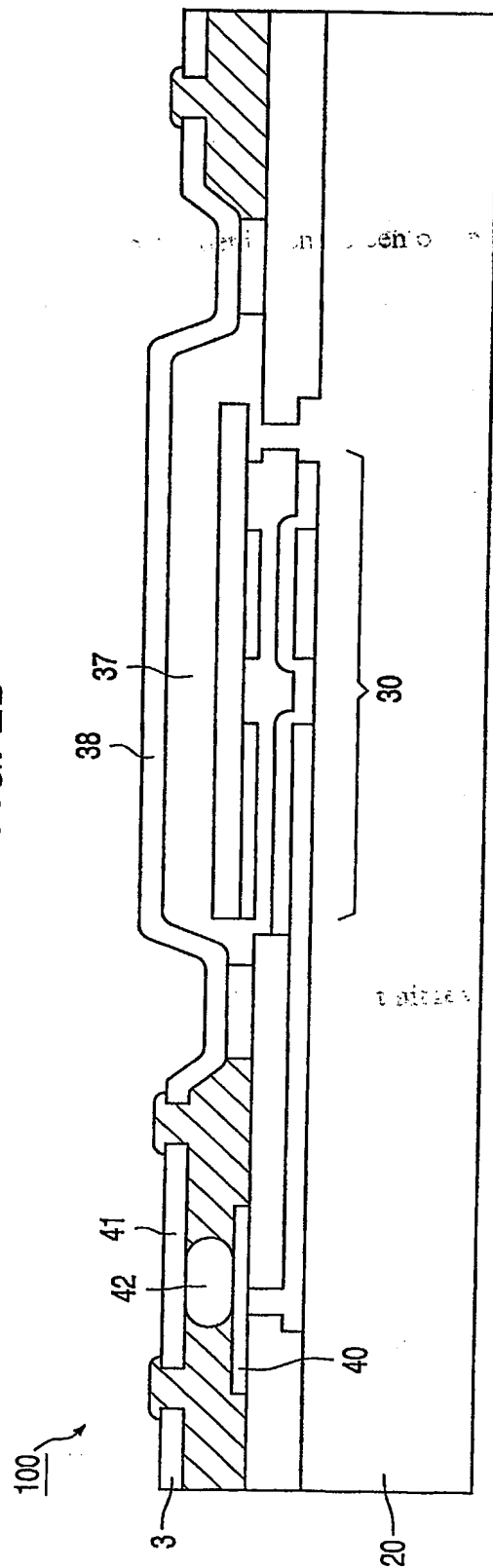


FIG. 2E